Ashraf Omar Samour
Arab Comics

سلسلة علوم الفيزياء الأساسيّة

يتضمّن الكتاب ثلاثة تجارب بسيطة، يعمل التلميذ على القيام بتجربتها واختبارها بنفسه.

الجماد والسّائل والغاز



المكتبة الحديثة ناشرون

25

سلسلة علوم الفيزياء الأساسية

الجماد والسّائل والغاز

لويز وريتشارد سبيلزبوري

المكتبة الحديثة ناشرون

الطبعة الأولى 2016

ترجمة: فاطمة عباني

التدقيق اللّغوي:

د. عصام الحوراني / مارينا سلوم / عماد الدين فارس

العنوان الأصلي للكتاب:

Solids, Liquids, and Gases

Richard and Louise Spilsbury

المكتبة الحديثة ناشرون

الجمهورية اللبنانية - بيروت

النويري - شارع زيدان - بناية التوفيق

تلفاكس : 009611654287

ص.ب : 2564 الرمز البريدي : 11072110

البريد الإلكتروني : alhadissa@hotmail.com

دار الهدى للطباعة والنشر والتوزيع

المنطقة الصناعيّة

ص.ب: 193 عين مليلة - الجزائر.

الهاتف : 032.44.92.00 - 032.44.95.47

الفاكس: 032.44.94.18

Web : www.elhouda.com

E-mail: darelhouda@yahoo.fr

فهرس المحتويات

هل تعلم؟
اكتشف حقائقَ مذهلة
حول الجماد والسائل والغاز

لحظة اكتشاف!
تَعَلَّم اكتشافات مهمة دفعت
عجلة المعرفة قدماً.

ماذا بعد؟
اقرأ عن آخر البحوث في
علوم الفيزياء الأساسيّة.

بعض الكلمات مكتوبة باللّون الأحمر،
يمكنك أنْ تجد معناها في المسرد.

ما هو الجماد والسّائل والغاز؟

انظر حولك. كلّ ما يسعك رؤيته ولمسه كالكرسيّ، والكتاب، والماء في الحنفيّة أو الكوب يعتبر مادة. المادة هي كلّ ما يحتلّ مساحة. يمكن تصنيف المواد إلى مجموعات وفق معايير عدّة، منها الجماد والسّائل والغاز. على سبيل المثال: الطوب جماد، والماء سائل، والهواء حولنا غاز. كلّ المواد الموجودة حولنا من أصغر نقطة غبار إلى أكبر حوت في البحر تمثّل حالةً أو مزيجاً من الحالات الثلاث المذكورة أعلاه.



إنْ نظرت حولك مجدّداً سترى أمثلة كثيرة عن الحالات الثّلاث في عالمنا. الطوب والخشب والمعدن، هذه المواد التي نستخدمها لبناء المنازل والأثاث هي جماد. الحليب الذي نشربه والماء الذي نغتسل به والوقود الذي نملأ به سيّاراتنا؛ كلّ هذه سوائل. الهواء يحتوي الأوكسيجين وهو غاز نحتاج إليه لنحيا. نزفر ونشهق من 15 إلى 25 مرّة في الدّقيقة من دون أنْ نفكّر في الأمر حتى لنحصل على الأوكسيجين الكافي.

لحظة اكتشاف!

صمّم الإنكليزي ويليام جيمس جهاز الغطس الأوّل (جهازاً للتنفس تحت الماء) عام 1825. يعتمر الغطّاس خـوذةً ويحمل زاداً من الأوكسيجين في حـزام معدنيّ حـول خصره مستخدماً هذا الجهاز للتنفس تحت الماء لمدّة ساعة.



أيمكنك تحديد الجماد والسّائل والغاز في هذه الصورة؟

هل كلّ الجماد صلب؟

الكثير من الجماد قاس كالخشب والطوب ولكن ليس جميعه. الصّوف والإسفنج ناعمان ولكنّهما جمادان. الجماد يتمتع بشكل محدَّد بحيث أنّه إنْ وضعت جماداً على طاولة يُحافظ على شكله ويبقى في مكان واحد. يتمتع الجماد أيضاً بحجم ثابت ما يعني أنه يحتلّ دائماً المساحة نفسها.

هل تعلم؟

الألماس هو أقسى جماد طبيعيّ. بعض آلات القصّ والنّشر تمتلك حبّاتٍ من الألماس على طرفها لتتمكّن من القصّ عبر المعدن والصخر والإسمنت.



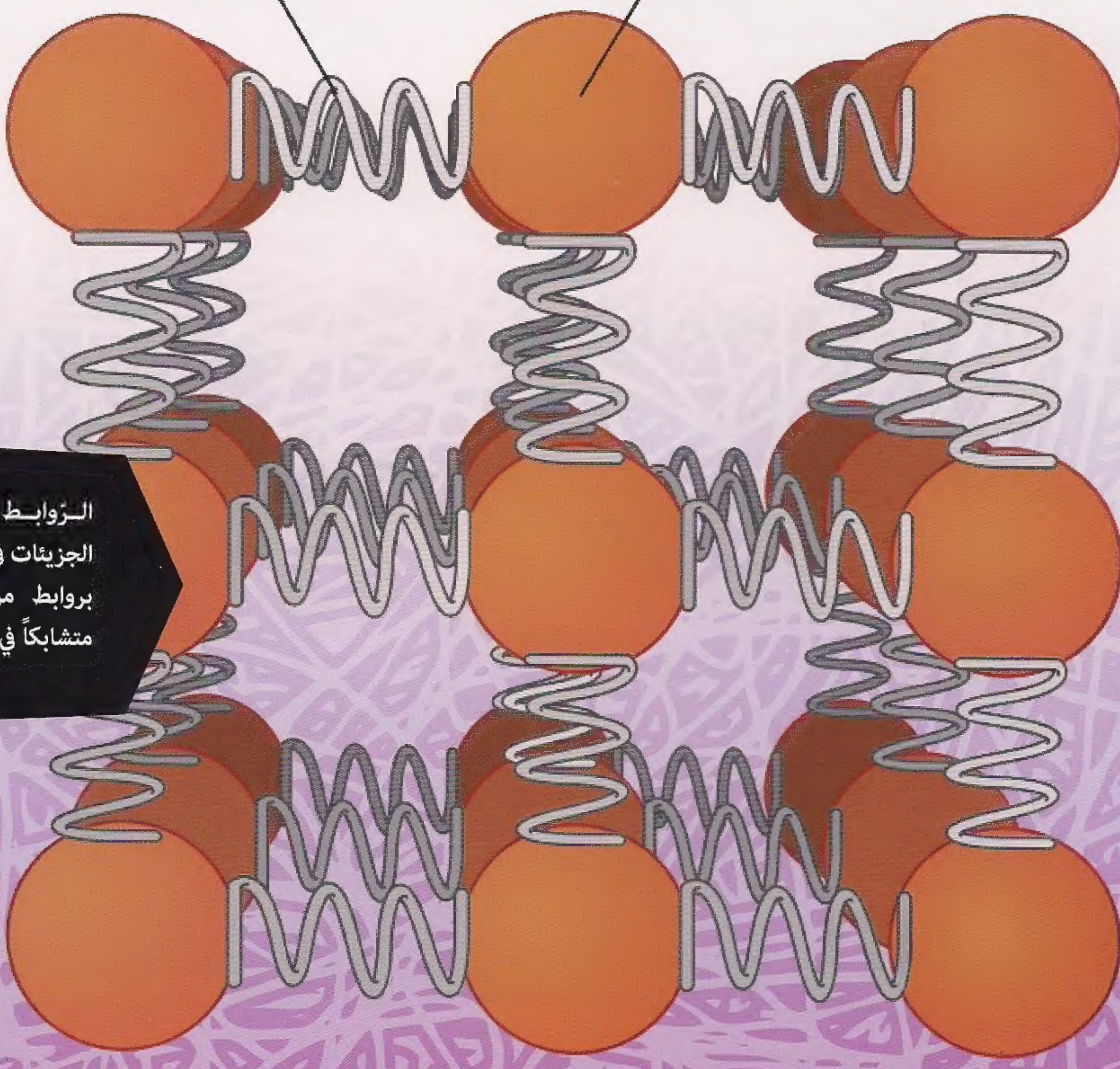
قد ينتشر الرّمل عندما نسكبه من وعاء لكنّه جماد لأنّ كل حبّة رملٍ تحافظ على شكلها وحجمها.

الذرّات والجزيئات

الذرّات والجزيئات أجزاء صغيرة تكوّن المادة. الذرّات صغيرة للغاية، فحوالى 10 مليون ذرّة قد تسع بجانب نقطة في نهاية السطر. هي بمكانة الأجزاء الأساسيّة المكوّنة للمادّة. كما المنزل مصنوع من طوب كذلك كلّ مادّة في العالم مصنوعة من ملايين الذرّات. الجزيئات تتكوّن من ذرّتين أو أكثر متّصلتين معاً. **تتّحد الذرّات والجزيئات عبر قوىً تدعى الرّوابط. يحافظ الجماد على شكله بسبب قوّة الرّوابط بين الجزيئات.**

لحظة اكتشاف!

عالم الكيمياء جونْ دالتن (1766-1844) أثبت أنّ كل المواد مصنوعةٌ من ذرّات. قام بتجارب واكتشف وزن بعض الـذّرات وابتكر رموزاً لبعض الذّرات والجزيئات.



الـرّوابـط بـين الـذرّات أو الجزيئات في الجماد هي أشبه بروابط مرنة تُبقي الزنبرك متشابكاً في نمط منتظم.

كيف نستخدم الجماد؟

نستخدم أنواعاً مختلفة من الجماد لأنّها تمتلك خصائصَ متنوعة. الفولاذ والإسمنت يتشاركان خاصيّة أنّه يصعبُ كسرهما حتى لو وُضع عليهما وزن ثقيل. يرجع السّبب للرّوابط القويّة بين الجزيئات. لذا نستخدمهما لصنع الجسور والأبنية. بعض الجماد كالنّحاس المعدنيّ يمكن شدّه وسحبه؛ لذا نستخدمه لصنع الأسلاك. الخشب مثلاً مفيد لأنّه يُمكننا قصّ الأشكال وصنع الأثاث به.

ماذا بعد؟

يطوّر صانعو السّيّارات نوعاً جديداً من البلاستيك لصنع هيكل السّيّارة. إنه قويّ كالفولاذ ولكنّ أخفّ منه بأربعين مرّة.

ناطحات السّحاب العملاقة تتمتّع بهيكل فولاذيّ وفي الدّاخل يوجد إطار من المعدن الصّلب الذي يقوّي المبنى.



تغيير شكل الجماد

بعض الجماد كالمعجون والبلاستيسين مُفيد لأنّه يمكن ضغطه ومدّه وتغيير شكله. بعض الجماد مرن بحيث يمكننا تغيير شكله وإعادته بعدها لشكله الأصلي. الكاوتشوك -على سبيل المثال- جماد مرن. ولكن إن قمنا بشدّ الجماد كثيراً يمكن أن ينكسر.

هل تعلم؟

عند تسخين المعدن تحت درجة حرارة مناسبة يمكن صنع شكل لا مثيل له. يمكن استخدامه في أشياء كالعروض والاحتفالات، وإن ثنِيَ يمكن إعادة المعدن لشكله الأصليّ.



عندما تهبط على «ترامبولين» تشدّ الكاوتشوك وبالتّالي يمتد المعدن. كلاهما مرن. حالما يعودان لشكلهما الأصليّ يدفعانك إلى الأعلى مجدداً.

هل كلّ السّوائل جارية؟

كلّ السّوائل جارية ولا يمكن إمساكها بأيدينا، ولكنْ بعضها جار أكثر من الآخر. بعضها انسيابي جداً بينما بعضها الآخر كثيف وينسكب ببطءٍ أكثر. الطلاء والعسل مثلاً لا يسيلان بسرعة الحليب والماء. لا تتمتّع السّوائل بشكل محدّد، فهي تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه. لهذا هي تحدث فوضى عندما تنسكب على الأرض وتنتشر في كل مكان!

لحظة اكتشاف!

يقوم العلماء بالتجارب منذ عام 1927 لإثبات أنّ مادة غليظة سوداء تُسمَّى قار«قطران» هي أغلظ سائل في العالم. عام 2011، انسكب فقط ثماني نقاط من القمع!

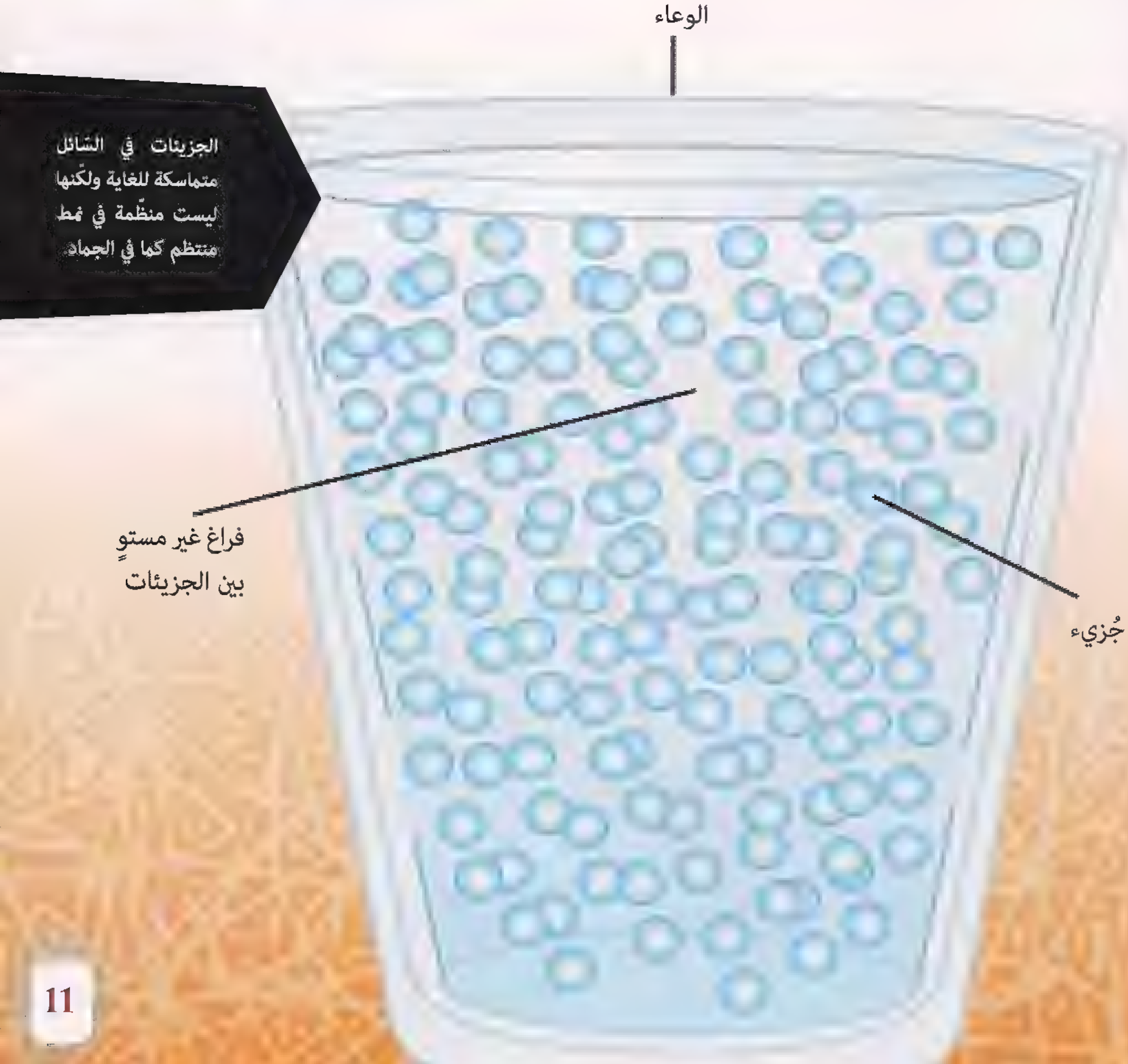


العسل سائل غليظ لذا يمكن أنْ يتجمع لبعض الوقت قبل أن ينساب إلى شكل الوعاء الذي يوضع فيه.

داخل السّوائل

الذرّات والجزيئات متّحدة جداً في السّوائل لكنّ الرّوابط التي تجمعهما ليست قويّة بقدر روابط الجماد. يمكن للجزيئات في السّائل أنْ تتحرّك وتبدِّل أماكنها وتنتشر؛ لهذا السّبب يكون السّائل انسيابيّاً ولا يحافظ على شكله.

هل تعلم؟
يمكن لبعض الحشرات السير على الماء بسبب ضغط سطح الماء. على سطح الماء، تتماسك جزيئات الماء وتشكل ضغطاً غير مرئيٍ.



كيف نستخدم السوائل؟

كما السّائل الـذي نشربه ونطهو فيه ونغتسل فيه، يتمتّع السّائل بخصائص تجعله مفيداً. يتمتّع السّائل بحجم ثابتٍ ولا يمكن ضغطه. انظر كم يصبح البالون قاسياً عند ملئه بالماء. هذا يعني أنه يمكن أن نستخدم السّائل لدعم الأشياء كالأَسِرّة المملوءة بالماء والوسادات التي ينام عليها النّاس.

هل تعلم؟

الكائنات الحيّة مكوّنة من60 إلى70 بالمئة من الماء وتحتاج أن تشرب الماء لتعويض الخسارة المتأتية من عمليات الجسم كالتعرّق والتبوّل. على اليافعينِ شرب حوالي 6 إلى 8 أكواب من الماء يوميا.



بعض الحيوانات كحلزونة البحر تملك أماكن في جسمها مليئة بالماء فهي تمنحها شكلاً.

قوّة السّائل

عندما تضغط جزءاً من السّائل فإنّ هذه القوّة تُنقل إلى كلّ أجزاء الماء. في الآلات المائيّة كالحفّارات تدفع المضخّاتُ الزّيتَ في أنابيب ضيّقة. هذا يجعل الماء يدفع أجزاء أخرى من الماء، تحرّك ذراع الحفارة لجعلها تحفّ وترفع التراب أو الرّدم.

في أنحاء كثيرة من العالم، يستخدم النّاس الماء لصنع الكهرباء تسمّى قوّة كهرمائيّة. ينساب الماء في سفوح الجبال ويُضغط في أنابيب تنقله إلى توربينات. يؤدّي الماء إلى دوران شفرات التوربينات لجعل المولّد يعمل وهذه آلات تصنع الكهرباء.

ماذا بعد؟

عام 2011، لم يملك 1.4 مليار شخص الكهرباء في بيوتهم للإنارة والطهي والتسخين. في المستقبل، يمكن لأجهزة كهرمائيّة تزويدهم بالكهرباء.



تعمل الآلة على الهيدروليك

جرّب هذا!

تختبر هذه التجربة البسيطة كم السّائل جاري من خلال رؤية مدى سرعة انسياب شيءٍ ما فيه.
المتوقّع حصوله: سيتطلّب شيء ما مدّة أطول ليُغمر في سائل أغلظ من السّائل الآخر.



ما تحتاج إليه:

- ساعة توقيت
- كوب طويل مع خطّ معلّم عند الطرف
- كرة فولاذيّة
- مغناطيس
- مناشف ورقيّة
- سوائل كالفواكه المكثّفة
- عصائر، ماء، عسل، شامبو، زيت.



الخطوات المتبعة:

1. املأ الكوب إلى الخطّ المعلّم مع أحد السّوائل وجهّز ساعة التوقيت.

2. أسقط الكرة في السّائل برفق. حدّد الوقت الذي تحتاج إليه ليغمرها السّائل. دوّن النتيجة.

③ أزل الكرة من السّائل عبر ضغط المغناطيس خارج الأسطوانة وارفعه إلى الأعلى. نظّف الكرة وكرّر العمليّة مرّتين.



④ اغسل الكوب جيداً بالماء الجاري. كرّر الخطوات من 1 إلى 3 مع سوائل مختلفة. احرص على مَلْء الأسطوانة إلى المستوى نفسه في كلّ مرّة تُجري الاختبار.



⑤ في النّهاية، يجب أنْ تملك جدولاً بهذا الشّكل. دوّن الوقت الذي احتاج إليه كل سائل وارسم قائمة بالنتائج.

عسل	ماء		
		1	الوقت الذي تتطلبه الكرة لتغرق في السائل
		2	
		3	

الاستنتاج

يجب أن تكون قد استنتجت أنّ الكرة غُمِرت في الماء والعصير بشكل أسرع بكثير من الزّيت والشّامبو.

أيمكن أنْ يصبح الجماد سائلاً؟

إن أمسكت قطعة من الشوكولاتة أو الجليد فهي تذوب في يدك. يصبح أغلب الجماد سائلاً عندما يسخّن. تتذبذب الجزيئات في الجماد أو تتحرّك طوال الوقت لكنّها تتذبذب بشكل أسرع عندما تسخن. تؤدّي هذه الحركات إلى كسر بعض الرّوابط بين الجزيئات؛ لذا هي تتحرّك أكثر بدل أنْ تبقى متماسكة، وبالتالي يصبح الجماد سائلاً.

هل تعلم ؟

ينصهر لوح الشوكولاتة عند 37 درجة مئوية وهي درجة جسمك؛ لهذا السّبب فهو يذوب في فمك!



الحمم البركانيّة هي سائل صخريّ ساخن. عندما يبرد في الهواء يصبح جامداً مجدّداً.

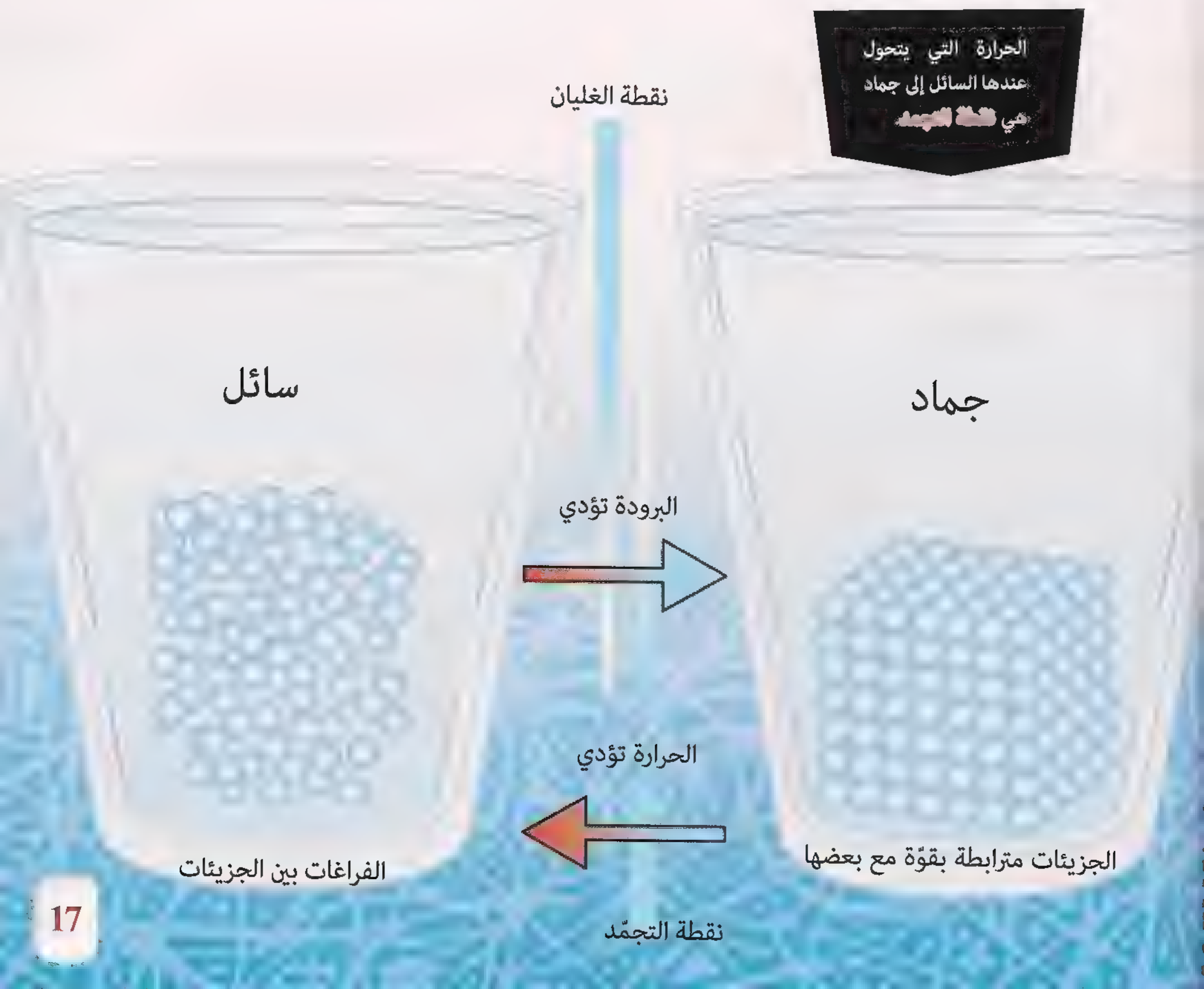
تذوب الأنواع المختلفة من الجماد تحت درجات حرارة مختلفة. هذا ما يُعرف بنقطة الانصهار لأنّ الرّوابط بين ذرّات المعدن أقوى.

سائل إلى جماد

لتحويل سائل إلى جماد نقوم بتبريده. عند تبريد سائل تبطؤ جزيئاته بينما تقلّ طاقته. تبقى الجزيئات قريبة من بعضها وتتشكّل روابط أقوى بينها. يصبح السّائل جماداً تدريجيّاً. يمكننا تغيير أغلب المواد من وإلى حالات مختلفة عبر التسخين والتبريد. على سبيل المثال: يمكننا إذابة وتجميد الجليد والماء مراراً وتكراراً. تسمّى هذه التغييرات تغييرات انعكاسيّة.

لحظة اكتشاف!

تمّ تطوير معيار الدرجات المئويّة من قبل أنـدرس سلسيس عـام 1742. في معياره الأصلي، كانت الدرجة صفر هي درجة غليان الماء ودرجة 100 هي درجة تجمّد الماء. وهذا نقيض المعيار الذي نستخدمه اليوم!



كيف نستخدم التبريد والتسخين؟

كثيرة هي الأشياء التي نستخدمها وهي مصنوعة من تسخين وتبريد الجماد والسّائل. يسخّن البلاستيك حتى يصبح سائلاً ثمّ يُسكب في قوالب لها أشكالٌ مختلفة من الملاعق والقناني البلاستيكيّة إلى الألعاب والكراسي. عندما يبرد ويتماسك يحافظ على شكل القالب. عندما يكون المعدن ساخناً وسائلاً يمكن تغيير شكله وجعله أوراقاً مسطّحة لصنع أشياء كثيرة، من النّقود المعدنيّة إلى الكمبيوتر.

ماذا تعرف؟

اليوم، أغلب البلاستيك مصنوع من زيت ولكنها تؤدّي إلى التّلوث لأنّها تفسد. لذا يعمل العلماء على بلاستيك جديد مُصنّع من النّباتات ويتوقّع أناس كثر تواجد بلاستيك نباتيّ أكثر في المستقبل.



يعمل الترموميتر لأنّ السّائل داخله يتوسّع ويرتفع في الأنبوب عندما يسخن.

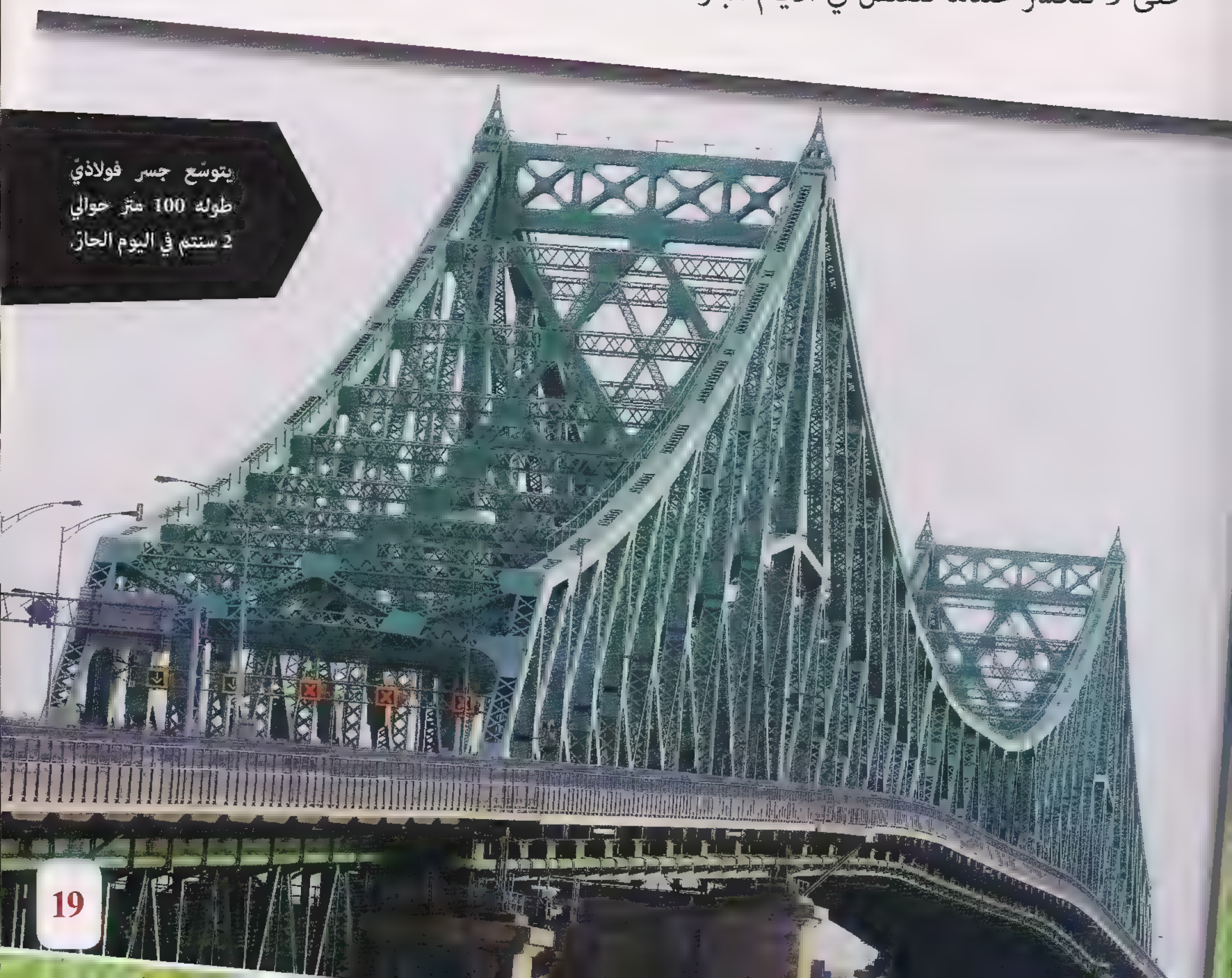
أكبر وأصغر

تتوسّع أغلب المواد وتكبر عند تسخينها وتتقلّص وتصغر عند تبريدها. يتوسّع الجماد عندما يسخن لأنّ الجزيئات في الدّاخل تتذبذب بسرعة وتحتلّ مساحة أكبر. يتقلّص الجماد عند تبريده لأنّ الجزيئات تتذبذب بشكل أبطأ وتحتلُّ مساحة أصغر.

يجب أنْ يسمح النّاس لحصولَ عمليات التقلّص والتوسّع عند صنع الأشياء. على سبيل المثال: يترك بناة الطرق ثغرات في الإسمنت ليتمكّن من التوسّع في الأيّام الحّارة من دون التصدّع. يطلق النّاس أسلاك الهاتف بين أطراف التلغراف حتّى لا تنكسر عندما تتقلّص في الأيّام الباردة.

هل تعلم؟

إن لم تستطع إخراج غطاء معدنيّ من وعاء فاطلب من بالغ أن يمسكهُ تحت مياه ساخنة. يتوسّع المعدن أكثر من الزجاج لذا فهذا سيطلق الغطاء.



يتوسّع جسر فولاذيّ طوله 100 متر حوالي 2 سنتم في اليوم الحارّ.

أيمكن مزج السّائل والجماد؟

يمكن أنْ يمتزج الجماد والسّائل. المزيج هو خليط من أشياء عدّة، كعندما نمزج قطعاً رخاميّة حمراء وخضراء وصفراء معاً. أنواع كثيرة من الجماد لا تتغيّر عند مزجها مع أشياء أخرى لذا يمكننا فصلها مجدّداً.

يمكن فصل مزيج من أنواع من جماد مختلف الأحجام عبر مصفاة. يعتمد حجم الثقوب في المصفاة على الجماد. يستخدم البستانيّون المصفاة لإزالة الحجار من التراب فالثّقوب الصغيرة للسّماح للتراب بالمرور عبر الحجار.

هل تعلم؟

في محطة إعادة تدوير، يستخدم النّاس مغناطيساً عملاقاً لفصل علب الفولاذ عن عُلب الألمنيوم؛ لأنّ الفولاذ معدن يُجتذب من قبل المغناطيس بعكس الألمنيوم.

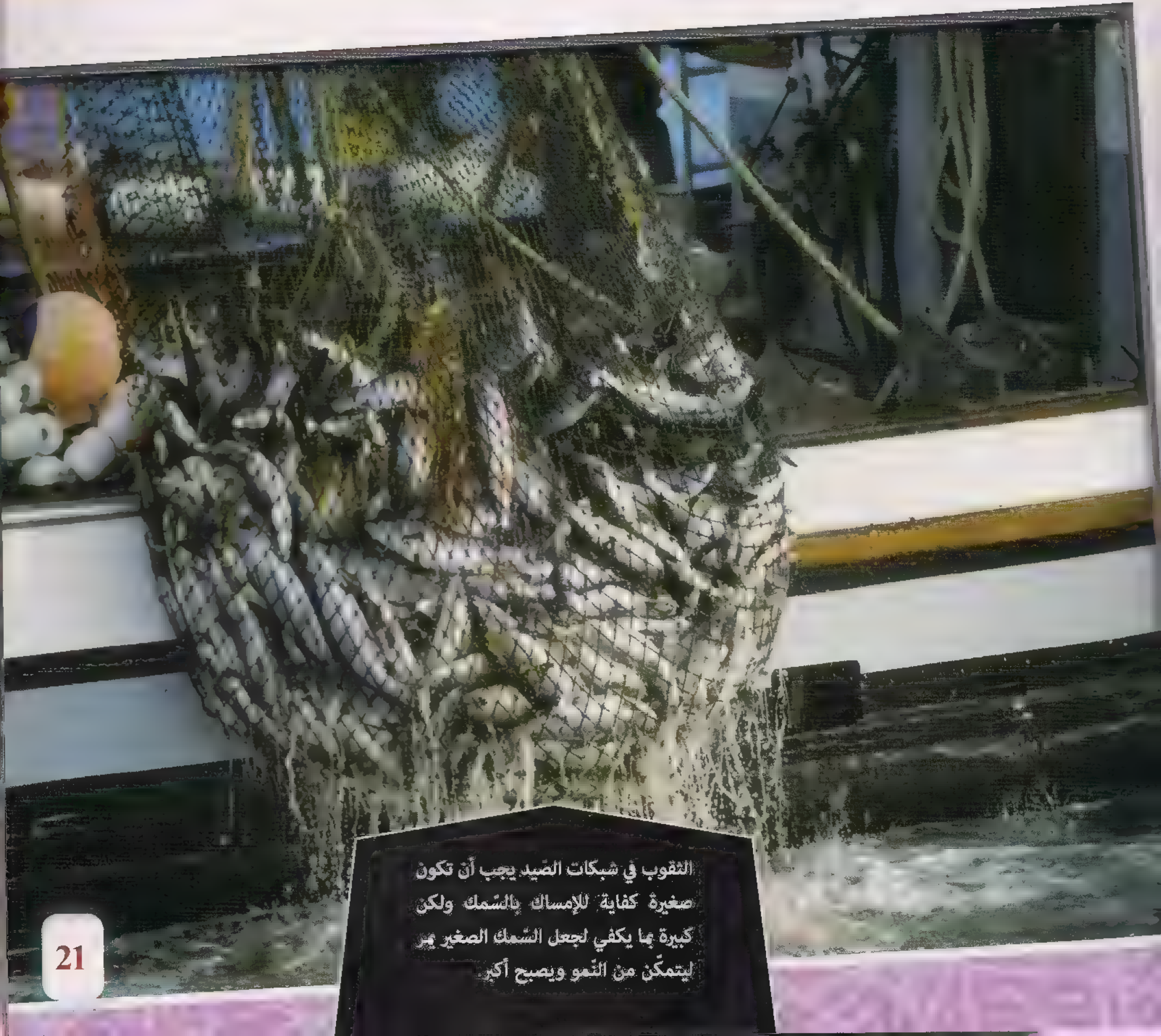


تستخدم المصافي الكبيرة هذه لفصل الحجارة عن الرّمل؛ لذا يمكن استخدامها في صنع الإسمنت والطرقات.

عند مزج بعض أنواع الجماد مع الماء تبقى منفصلة. بعضها كالفلّين يطفو على الماء وبعضها الآخر كالنّقود المعدنيّة أو المعدن يُغمر في الأسفل. يمكننا فصل بعض الجماد عن السّائل عبر المصفاة كعندما نستخدم مصفاة مطبخ لتجفيف المعكرونة أو البازلاء. يوجد مصافٍ ذات ثقوب صغيرة جداً لفصل قطع الجماد الصّغيرة عن السّائل. أوراق تصفية القهوة تتمتّع بثقوب صغيرة جداً للسّماح للمياه المغليّة بالمرور من دون حبيبات القهوة.

لحظة اكتشاف !

عام 2006، المخترع الدنماركي «طوربن فسترغارد فراندسن» ابتكر القشّة المنقذة للحياة. عندما تشرب مياهاً وسخة تقوم هي بإزالة الأوساخ وتقوم المواد الكيماويّة بالتخلص من الجراثيم لجعل المياه أنظف.



الثقوب في شبكات الصّيد يجب أن تكون صغيرة كفاية للإمساك بالسّمك ولكن كبيرة بما يكفي لجعل السّمك الصغير يمر ليتمكّن من النّمو ويصبح أكبر.

كيف يختفي الجماد في الماء؟

بعض أنواع الجماد يختفي في الماء. في الواقع، إنّها تذوب بكلّ بساطة. تتكسّر إلى أجزاء صغيرة في السّائل بحيث لا يمكن فصلها عبر التصفية. هذا ما يحدث عندما نحرّك السكر في الكاكاو أو الملح في الحساء. تصبح أجزاء السّكر أو الملح صغيرة جداً ولا يمكن رؤيتها ولكنّنا نعلم أنّها ما زالت موجودة لأنّه يسعنا تذوّقها. السّائل الذي يذوب فيه شيءٌ ما يُسمّى محلولاً.

ماذا بعد؟

طوّر العلماء علباً بلاستيكيّة للطّعام لتحميه من الذوبان في الماء. في المستقبل، قد تتمكّن من تناول السندويش والورق حوله أيضاً!



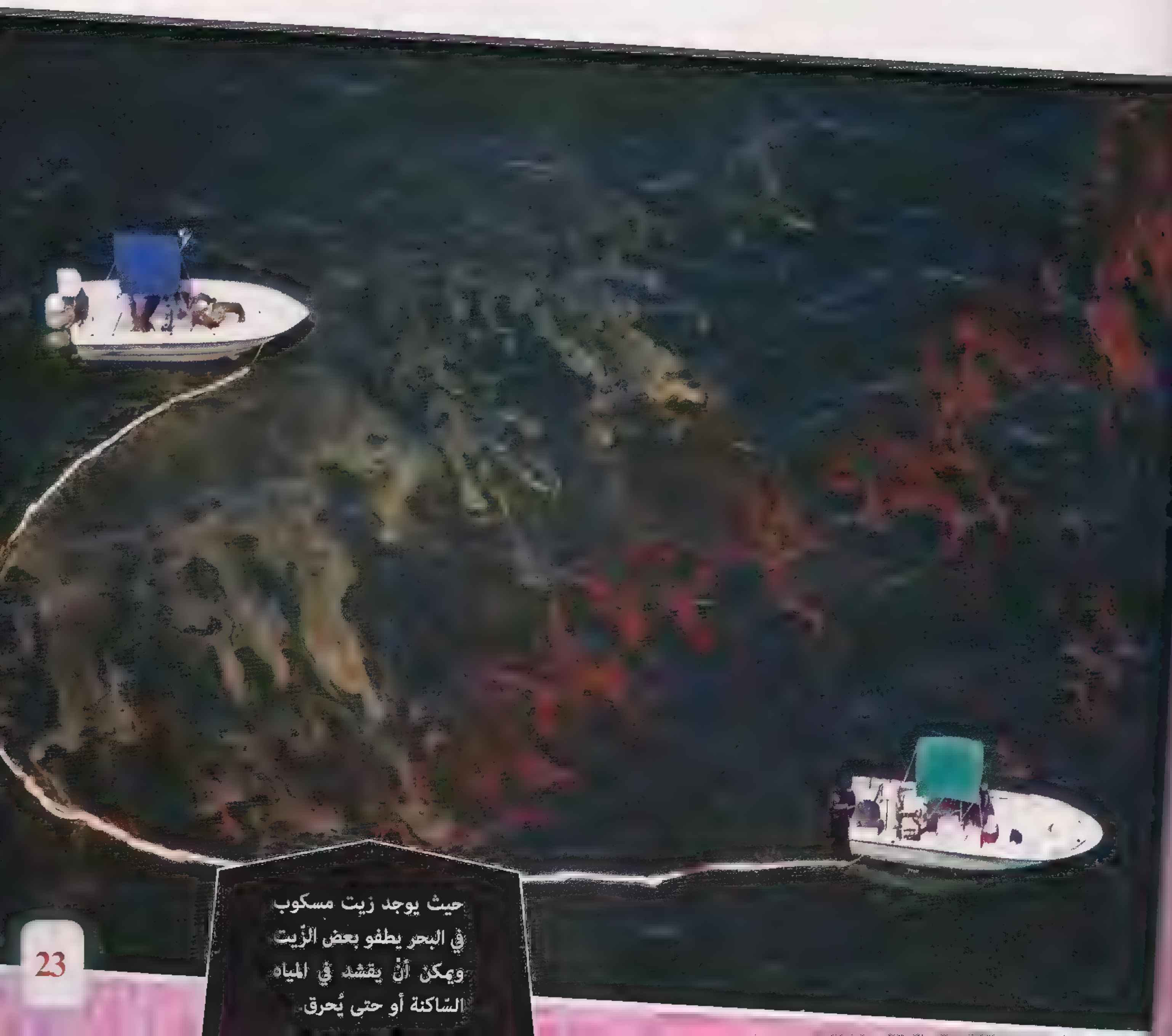
مياه البحر مالحة لأنّها محلول من الماء والملح. أغلب الملح في مياه البحر يأتي من أجزاء صغيرة من الصخر والرّمل القادم من النهر والمطر من اليابسة.

يذوب السّكر في الماء لأنّ السّكر يتكسّر إلى جزيئات منفردة. تنتشر هذه الجزيئات في جزيئات الماء. الجزيئات صغيرة جداً بحيث لا يسعنا رؤيتها فنظن أنّ السّكر اختفى.

يمكننا جعل السّكر يختفي بشكل أسرع عبر مزجه مع مياه ساخنة. يسرّع هذا سرعة جزيئات السّائل لذا ترتطم بجزيئات الجماد أسرع. ثمّ تتحرّر جزيئات الجماد وتنتقل بشكل أسرع. تحريك محلول يجعل السّكر يختفي بشكل أسرع أيضاً.

هل تعلم؟

تذوب بعض السوائل في سوائل أخرى كعصير الليمون في الماء ولكن السّوائل الأخرى لا تفعل هذا! لا يمتزج الزّيت مع الخلّ بل يطفو على السّطح. لهذا تكون مرقة السلطة عادة منفصلة!



حيث يوجد زيت مسكوب في البحر يطفو بعض الزّيت ويمكن أنْ يفقد في المياه السّاكنة أو حتى يُحرق.

ما هي الغازات؟

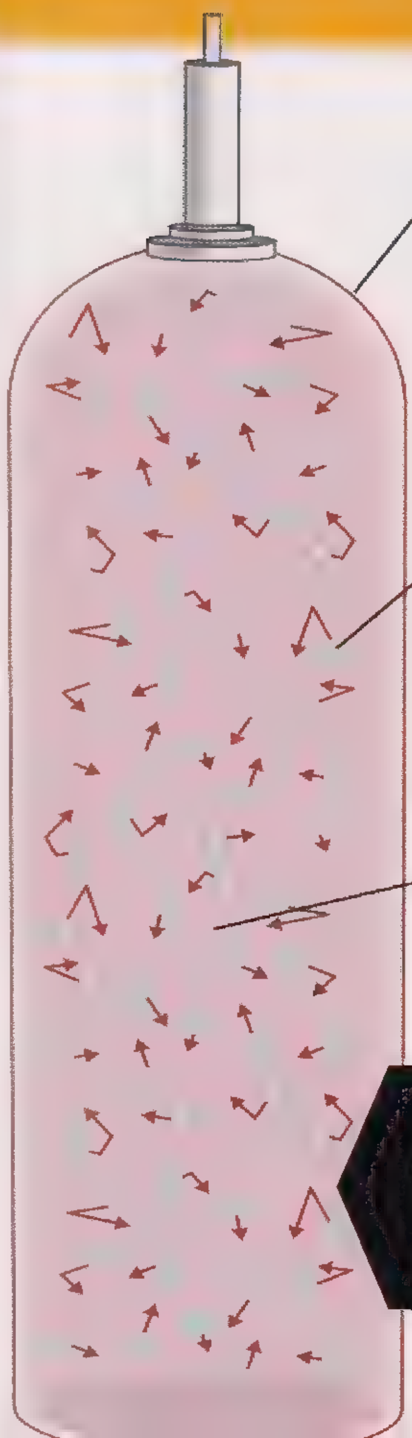
الغاز نوع من المواد يحتلّ مساحة ويملك وزناً ولكنّه لا يملك شكلاً أو حجماً خاصّاً به. كالهواء في السّماء، يمكن للغازات أن تنتشر في الاتجاهات كلّها وتغيّر شكلها لملء أيٍّ مساحة.

بعكس الجماد والسّائل، حجم الغاز ليس ثابتاً فهو يأخذ حجم الوعاء. على سبيل المثال: عندما تنفخ وسادة هوائيّة ينتشر الهواء لِمَلءِ الثّغرات في الوسادة.



لحظة اكتشاف!

تحتاج الحيوانات إلى الأوكسيجين لتحيا. عام 1772، أثبت جوزيف بريستلي أنّ النباتات تصنع الأوكسيجين الذي تحتاج إليه. اكتشف أنّ فأراً بقي على قيد الحياة في صندوق مانع للهواء مليء بالنّباتات، ولكنّه عاش لفترة قصيرة جداً في صندوق لا يحتوي نباتات.



تنتشر الجزيئات في صهريج جهاز غطس على نطاق واسع وهي تتحرك دائماً بسرعة وفي كلّ الاتجاهات.

إن لم يكن بوسعنا رؤية غاز كالهواء فكيف نعلم أنّه موجود؟ نعلم أنّه موجود لأنّه يمكننا أن نشعر به. نشعر بالهواء عندما تهبّ الريح ويمكننا أن نشعر به يضغط داخل البالون. تُسمّى قوّة الضغط هذه ضغط الهواء. نعلم أيضاً أنّ الهواء هو شكل من أشكال المادة لأنّ له وزناً. جرّب أن تنفخ بالونين وتعلّق كلّ واحد على طرف التعليقة لتتوازن ثمّ قم بثقب أحدهما ليخرج الهواء وانظر ماذا يحدث!

هل تعلم؟

يحيط بنا ضغط الهواء طوال الوقت ولكنّنا لا نشعر به. يقوم الهواء داخل أجسامنا بتحقيق التوازن مع ضغط الهواء في الخارج.



لا يوجد هواء وبالتالي لا يوجد ضغط للهواء في الجو. يرتدي روّاد الفضاء بزّات مليئة بالماء لتضغط على أجسامهم. فالبزّات تمنع أجسامهم من التضرّر!

كيف نستخدم الغازات؟

نستخدم الغازات بأساليب عديدة. نحرق الغاز الطبيعيّ في الفرن لنولّد حرارة للطبخ أو لتدفئة المنازل ويستخدم الهيليوم لملء البالون العائم. يستخدم غاز ثاني أوكسيد الكربون في طفّايات الحريق للمساعدة في إخماد النّار. يستخدم أيضاً لصنع الفقاعات في المشروبات الفوّارة. نستخدم الهواء لِمَلْءِ أشياء كالخواتم المطّاطيّة والعجلات لأنّ الهواء ينتشر داخل هذه الأشياء.



يستخدم الهيليوم في بالونات الحفلات وهو يرتفع لأنّ كثافته أقلّ من الهواء.

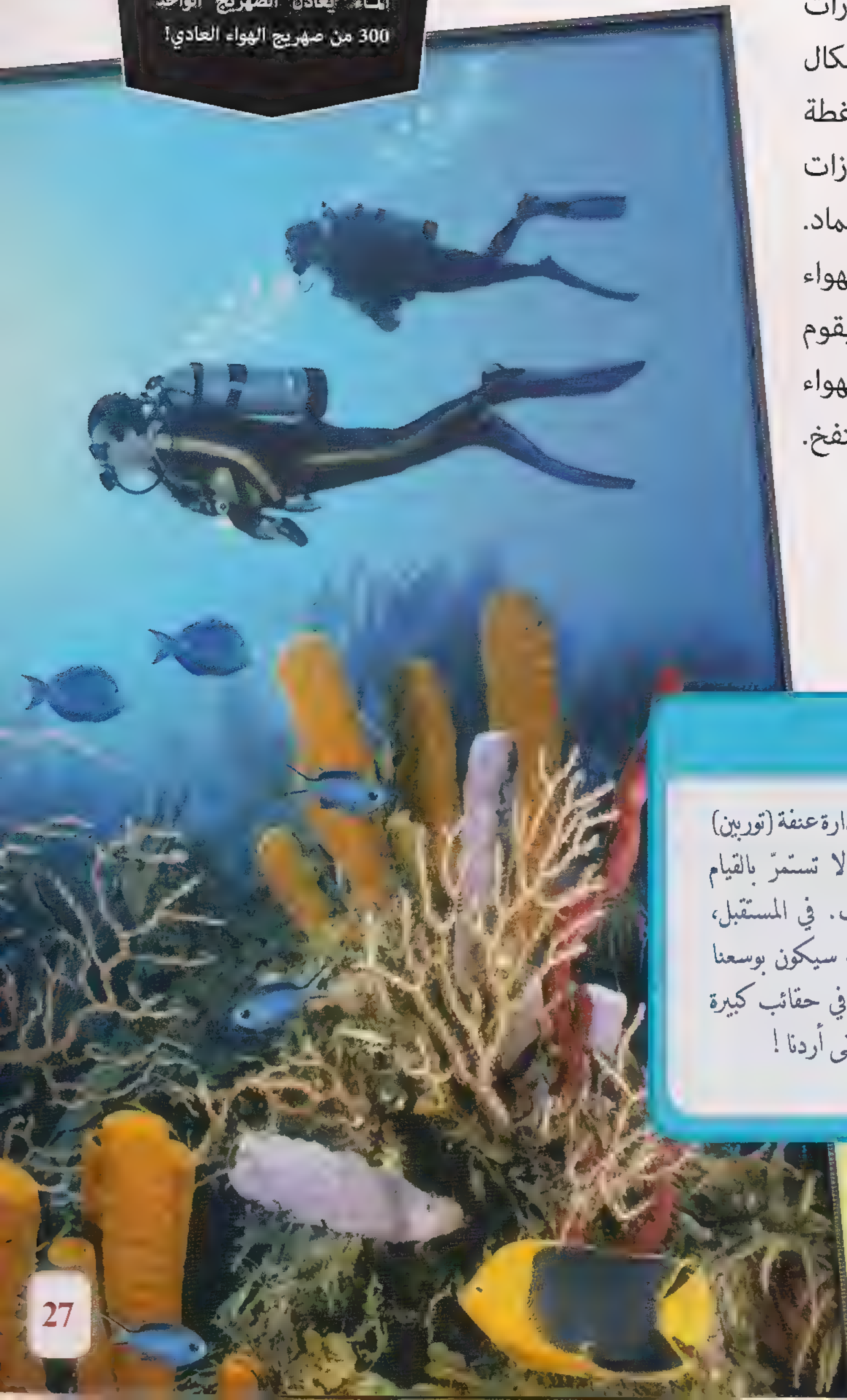
هل تعلم؟

نشمّ الأشياء لأنّ الهواء يستطيع نقل جزيئات صغيرة تعود للجماد أو السّائل. يساعدنا هذا على تنشّق أشياء كالأزهار أو العطور ويُنذرنا من الخطر كأن نشتمّ رائحة دخان ناجمة عن نيران!

تحت الضغط

الثغرات الكبيرة بين الجزيئات في الغاز تعني أنّ الغازات يمكن أن تتقلّص إلى أشكال أصغر. يخلق هذا قوّة ضاغطة يمكنها الضّغط على غـازات أخرى أو سوائل أو حتى جماد. على سبيل المثال: نضغط الهواء داخل مضخّة درّاجـة ويقوم هذا الضغط بدوره بدفع الهواء من المضخّة إلى العجلة لتنتفخ.

يستخدم الغطّاسون صهاريج من الهواء [illegible] للتنفّس تحت الماء. يعادل الصهريج الواحد 300 من صهريج الهواء العادي!



ماذا بعد؟

يستطيع ضغط الرّياح إدارة عنفة (توربين) لتوليد الكهرباء لكنّ لا تستمرّ بالقيام بهذا من دون توقف. في المستقبل، يفكّر بعض العلماء أنه سيكون بوسعنا تخزين هواء مضغوط في حقائب كبيرة وإطلاقها في التوربين متى أردنا!

جرّب هذا!

اكتشف كميّة الهواء في رئتيك! انفخ في قشّة على الماء فترى فقاعات. يمكنك أن تكوّن فكرة عن كميّة الهواء في رئتيك عبر التقاط الهواء الذي تنفخه. من الطرق أيضاً النّفخ في قنينة مليئة بالماء! المتوقّع حصوله: كمية الهواء التي يمكنك ضغطها من القنينة هي نفسها الكميّة التي تنفخها.



ما تحتاج إليه:

- ماء
- قنينة بلاستيكيّة 2 ليتر من دون غطاء
- إناء
- إبريق للقياس
- أنبوب بلاستيكيّ طوله حوالى متر

الخطوات المتّبعة:



1. اسكب مياه من الحنفية عمق 10سنتم. املأ القنينة بليترين من الماء.
2. ضع يدك على فتحة القنينة بحيث لا يقع أيُّ ماء. اقلب القنينة وضع أعلى القنينة تحت الماء في الإنـاء. ثمّ قم بإزالة الفتحة بينما تمسك القنينة بيدك الأخرى بشكل ثابت. يمكنك أن تطلب من صديق أن يُمسك لك القنينة.



③ ضع الآن أحد طرفي الأنبوب البلاستيكيّ في قنينة الماء وأحْكِم إمساك الطرف الآخر.

④ خذ نفساً عميقاً بحيث تمتلئ رئتاك بالهواء ثمّ تنفّس بانتظام في الأنبوب البلاستيكيّ حتى ينفد النّفس. يفترض أن ترى الماء في القنينة يقلّ وترى فقاعات في الإناء.



⑤ أزل الأنبوب وضع يدك فوق فتحة القنينة أخرجها من الإناء وعدّله بوضعيته الطبيعيّة.

⑥ استخدم إبريق القياس لإعادة تعبئة القنينة. دوّن الحجم.

الاستنتاج

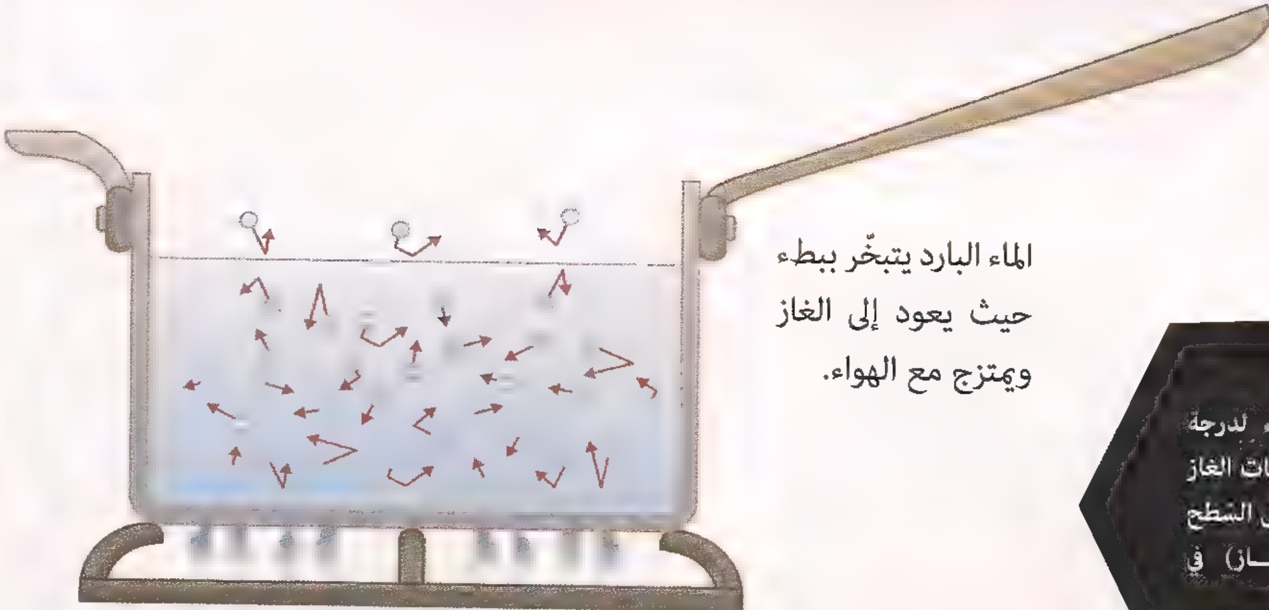
عندما تنفخ الهواء في القنينة فهيَ تحرّك بعض الماء. استبدلت كميّة الماء بكميّة الهواء نفسها التي خرجت من رئتيك!

أيمكن أن يُصبح السّائل غازاً؟

يمكن أن يصبح السّائل غازاً عندما يسخّن. عندما يصبح السّائل أسخن، تتحرّك الجزيئات داخله أسرع وهذا يجعل بعض الرّوابط بين الجزيئات تتكسر. تتحرّر هذه الجزيئات من السّائل كغاز وهذا ما يُسمّى بالتبخّر. نرى نتائج التبخّر عندما يتبخّر الماء من الغسيل الساخن إلى الهواء ويجفّف ملابسنا أو عندما تنشف البركة تحت أشعة الشّمس. التبخّر هو أيضاً ما يجعل الطلاء يجفّ.

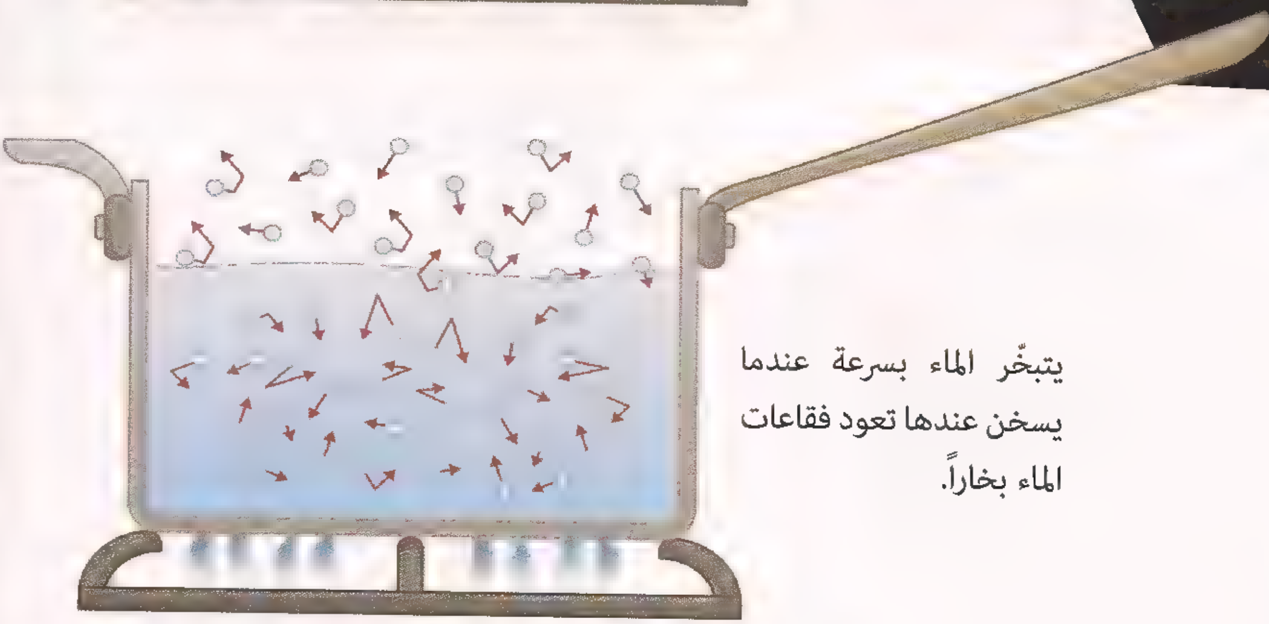
هل تعلم؟

في الاماكن الحارّة كأستراليا يضع النّاس غطاءً على بركهم عندما لا يستخدمونها لئلا تتبخّر وليحافظوا على الماء. من دون غطاء البركة يمكن أن يتبخر أكثر من نصف مياه بركة السّباحة خلال سنة!



الماء البارد يتبخّر ببطء حيث يعود إلى الغاز ويمتزج مع الهواء.

عندما نسخن الماء لدرجة الغليان تتكوّن فقاعات الغاز في السّائل وترتفع إلى السّطح وتتحرّر كبخار (غاز) في الهواء!



يتبخّر الماء بسرعة عندما يسخن عندها تعود فقاعات الماء بخاراً.

يحدث التبخّر على سطح السّائل. لهذا تعتمد سرعة تبخّر السّائل ليس على حرارة السّائل فحسب بل أيضاً على مدى حجم السّطح. لذا تتبخّر البركة الواسعة والسّطحية أسرع من البركة العميقة والضيّقة التي تحتوي الكميّة نفسها من الماء. تساعد الرّياحُ الأشياءَ على التبخّر أسرع أيضاً ولهذا ينشف الغسيل أسرع في الخارج في مهبّ الرّياح. تنفخ الرّياح جزيئات السّائل المتبخّر ببطء على سطح القماش ثمّ تنتقل إلى المستوى الآخر من السّائل وهكذا دواليك.



تجفّ الملابس بشكل أسرع في الأيام الحارة الشديدة الرّياح خصوصاً إن كانت معلّقة في مكان عالٍ بحيث يمكن لهواء أكثر أن يتطاير عليها.

كيف نستخدم التبخّر؟

يستخدم جسمنا التبخّر ليبقى مُنتعشاً. العرق من جسمنا هو ماء بأغلبه وعندما يتبخّر العرق السّاخن من الجلد ويصبح غازاً فهو يأخذ بعض الحرارة من جلدك معه. لهذا من الأفضل أن تجفّف نفسك بسرعة بعد السّباحة في يوم بارد لأنّ التبخّر في جسمك سيجعلك تشعر ببرد أكثر.

لحظة اكتشاف!

كانت المخترعة البريطانية إميلي كومينز تبلغ من العمر 21 سنة عندما اخترعت ثلّاجة للناس الذين لا يملكون كهرباء. الثلاجة مصنوعة من أنبوبين، واحد داخل الآخر مع تراب ساخن بينهما. عندما تمرّ أشعّة الشّمس عبر الثقوب في الأنبوب الخارجيّ وتسخّن التراب السّاخن يتبخّر الماء ويبرد الأنبوب الدّاخليّ ليُبقي محتواه بارداً.



في الأيّام الحارّة، ترشّ الفيلة الماء على نفسها عبر خرطومها. ثمّ تهزّ أذنيها بشدّة لتسرّع التبخّر ولتنتعش بشكل أسرع!

ركّز!

نستخدم التبخّر أيضاً لنصنع المشروبات ونكهات الطعام . العصير المعصور من الفواكه مباشرة هو ماء بمعظمه؛ لذا يسخّنه النّاس ويقومون بتبخير الماء لصنع عصائر مركّزة. هذه العصائر يسهل تخزينها لوقت أطول ونقلها لأنّها تحتلّ مساحة أقلّ. يمكن أن يُخفَّف العصير المركّز مجدداً عبر إضافة الماء إليه. في الأماكن الحارّة، يترك البحر المالح أو مياه البحيرة في برك سطحيّة ليتمّ التبخّر في الشّمس. الملح الجافّ الذي يُخلّف يُجمع ويُنظف لصنع ملح يضاف إلى الطعام.

عندما يتبخّر الماء من هذه البرك السّطحيّة من المياه المالحة ، يخلّف الملح!



ما هو التكثيف؟

التكثيف عكس التبخّر، فهو يعني تحوّل غاز إلى سائل. عندما يبرد الغاز تصبح طاقة جزيئاته أقلّ وتتحرّك بشكل أبطأ. تبدأ الرّوابط بالتكوّن بين الجزيئات. عندما تتّحد الجزيئات تصبح المادّة سائلاً. نرى تأثيرات التكثيف يوميّاً كَأن يتكثّف البخار من الهواء في حمّام ساخن إلى سائل على زجاج بارد. إنّها هذه القطرات من الماء على النّوافذ والمرايا وأبواب الحمّامات!

هل تعلم؟

عليك أن تحكم إمساك كوب يحتوي الجليد! الكوب من الخارج يصبح رطبا وزلقا. عندما يبرد الهواء خارج الكوب ويصنع بعض البخار في الهواء يتكثف إلى سائل على الزّجاج.



يتصاعد البخار على المرايا عندما تتكثّف قطرات الماء على السّطح.

التكثيف المزعج

قد يكون التكثيف مزعجاً. على سبيل المثال: إنه السّبب الرئيس للرطوبة في المباني. عندما يتكثّف البخار في الهواء السّاخن على الأسطح في المنزل كورق الجدران فإنّ السّطح يمتصُّ الماء وينمو العفن على هذا السّطح الرطب. إنّها تبدو غير محبّبة وقد تؤدّي إلى مشكلات في التنفّس.

التكثيف المفيد

قد يكون التكثيف مفيداً. في الأماكن التي لا يتواجد فيها الهواء بشكل كبير يقوم النّاس بتبخير المياه القذرة أو المالحة ثمّ يكثّفونها. يزيل التكثيف المياه الصّالحة للشرب ويخلّف القذارة والملح.



تخلف الطائرات غيوماً صناعيّة في السماء. الغيوم الصناعيّة هي مختصر لطرق التكثيف التي يسبّبها تكثيف البخار وراء المروحيّات النفّاثة.

ما الذي يجعل الماء مميزاً؟

الماء مميّز لأنّه موجود بشكل طبيعيّ بشكل غاز وسائل وجماد كالبخار في الهواء والجليد والماء السّائل. هو غريب أيضاً لأنّه يملك حجماً أكبر عندما يتجمّد بينما أغلب السّوائل الأخرى تحتلّ مساحة أصغر عندما تتجمّد.

هل تعلم؟

الماء موجود في كلّ مكان! يغطّي الماء 70 بالمئة من سطح الكرة الأرضيّة مع أنّ أغلب الماء (97 بالمئة) مالح وفقط 3 بالمئة عذب. و85 بالمئة من المياه العذبة متجمّدة في القطبين وعلى الجبال العالية.



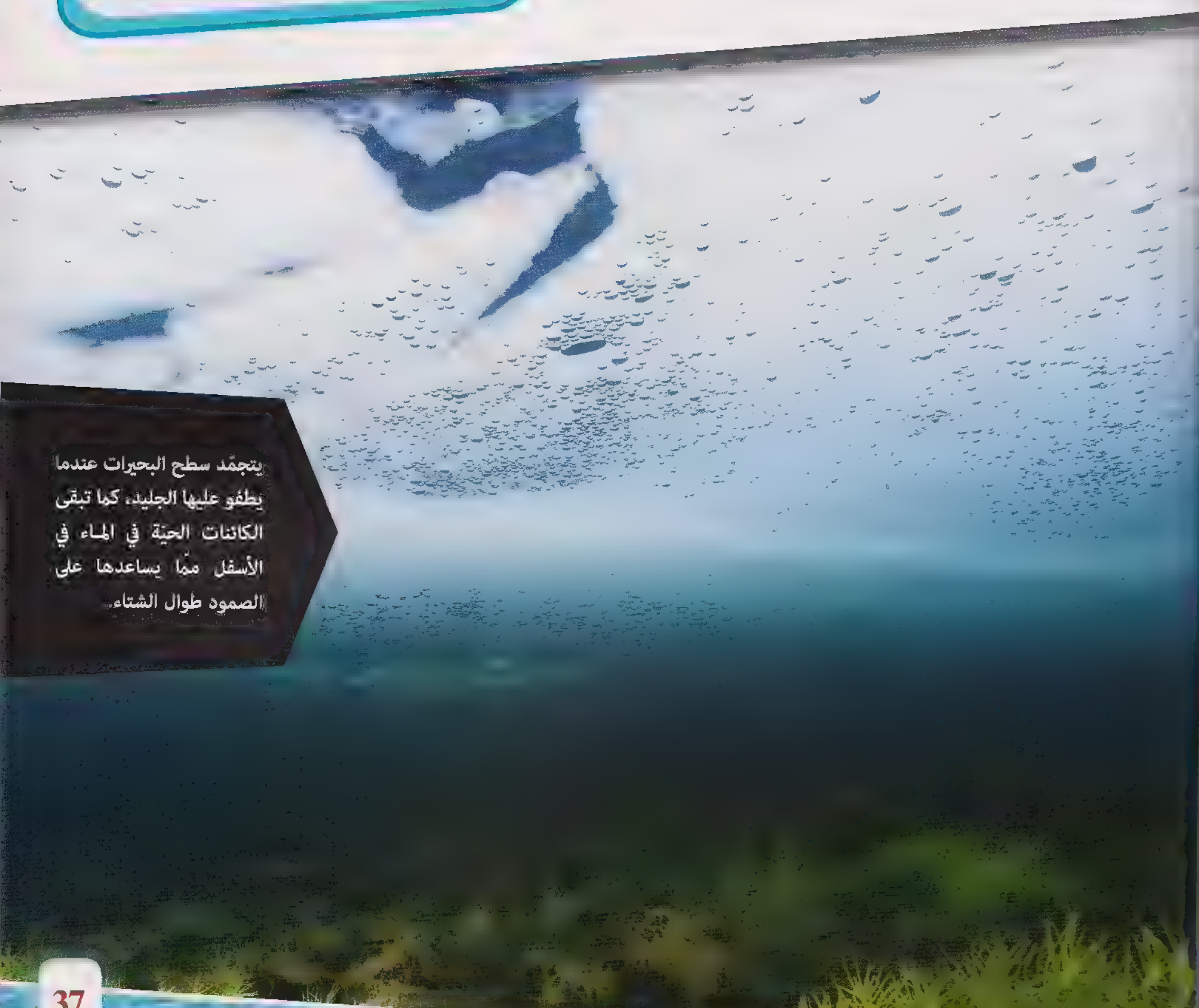
عندما تصل مياه الأمطار إلى التصدّعات في الصخور وتتجمّد يتوسّع الجليد ويجعل التصدعات أكبر مؤدّية إلى تكسر الصخور!

جليد غير عادي!

يحتل كيلوغرام من الرّصاص والريش مساحة مختلفة لأنّهما يتمتعان بحجم مختلف. تتقلّص الكثير من المواد على الكرة الأرضيّة ويصبح حجمها أكبر عندما تبرد. لكن عندما يتجمّد الماء إلى جليد فهو يحتلّ مساحة أكبر بـ 9 بالمئة مقارنة به عندما كان سائلاً ويصبح حجمه أقلّ؛ لهذا يطفو الجليد في الكوب، وتطفو الكتل الجليديّة على البحر.

ماذا بعد؟

يعلم العلماء أنّ الكرة الأرضيّة تصبح أسخن. الاحتباس الحراريّ يؤدي إلى ذوبان القطبين الشّمالي والجنوبي وزيادة مستوى الماء في المحيطات. في المستقبل، هذا يعني أنّ بعض الخطوط السّاحلية ستطوف وستغمر بعض الجزر.



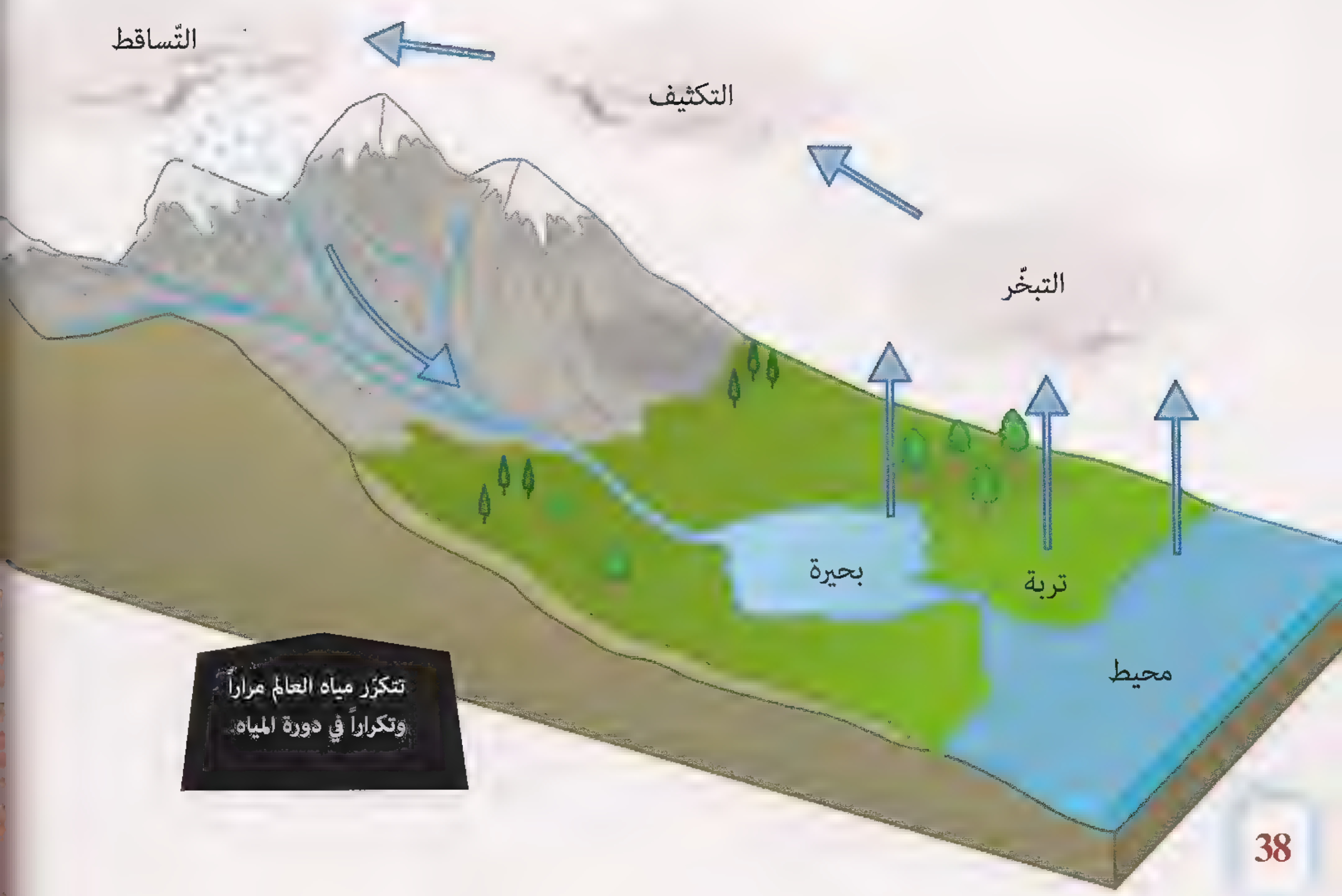
يتجمّد سطح البحيرات عندما يطفو عليها الجليد، كما تبقى الكائنات الحيّة في الماء في الأسفل ممّا يساعدها على الصمود طوال الشتاء.

ما هي دورة المياه؟

دورة المياه هي عمليّة التبخّر والتكثيف التي تكرّر الماء على الكرة الأرضيّة. تسخّن الشّمس المياه على اليابسة وفي الأنهر والمحيطات والبحار وتحوّلها إلى بخار. يرتفع هذا البخار إلى الهواء ويبرد ويتكثّف مجدّداً إلى قطرات سائلة تشكّل الغيوم. عندما تصبح قطرات الماء ثقيلة جداً تطفو في الهواء تسقط كمطر. يجري الماء على اليابسة ويتجمّع في المحيطات والأنهر والبحار وتبدأ الدورة مجدّداً.

هل تعلم؟

تستخدم المياه نفسها مراراً وتكراراً؛ لذا المياه التي تستحمّ بها اليوم قد تكون طفت مرّة في الأمازون أو استخدمت لغسل أيدي مصريٍ قديم!



تتكرّر مياه العالم مراراً وتكراراً في دورة المياه.

مطر، ثلج أم برد؟

لا تصنع كلّ الغيوم الأمطار. في الأيّام الدّافئة، قد تنجرف الغيمة إلى هواء دافئ وقطرات الماء التي تكوّن الغيمة قد تتبخّر. الغيوم العالية موجودة في هواء بارد وقطرات الماء داخل هذه الغيوم تكوّن بلّورات جليد جامدة. عندما ترتطم هذه البلّورات تتّحد وتصبح ثقيلة جداً لتطفو في الهواء لذا تسقط من السّماء. إن كان الهواء الذي تسقط فيه دافئاً تذوب بلّورات الجليد وتسقط كمطر. وإن كان الهواء الذي تسقط فيه بارداً فهي تسقط كجليد أو برد.

كلّ قطعة ثلجيّة مميّزة فلا قطعة تشبه الأخرى. كلّ قطعة تملك بلّورات جليد لها مقاس ولون مختلف.



جرّب هذا!

يتبخّر الماء من الأنهار الشّاسعة والمحيطات في الهواء ويتكثّف إلى غيوم ويسقط إلى الأرض على مرّ أيّام وأسابيع. طبّق هذه الدّورة في بِضْعِ ساعات في يوم ساخن مستخدماً إِناءً وفنجاناً وتغليفاً شفافاً!

المتوقّع حصوله: سينتقل الماء من مكان إلى آخر من خلال التبخّر والتكثيف.

ما تحتاج إليه:

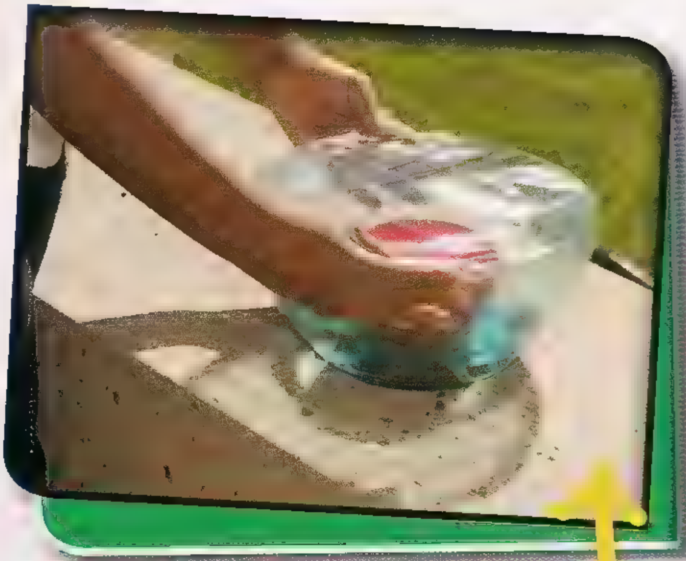
- مجموعة من أوراق التغليف الشفّاف أو ورق بلاستيكيّ مرن•
- إناء بلاستيكيّ أو معدنيّ كبير
- فنجان كبير جافّ
- نقود معدنيّة
- إبريق
- سوار مطّاطيّ
- ماء



الخطوات المتبعة:



1. ضع الإناء في الخارج تحت الشمس.
2. استخدم الإبريق لسكب الماء في ربع الإناء.



③ ضع الفنجان وسط الإناء واحرص على ألّا يدخل إليه الماء.

④ غطِّ أعلى الإناء بإحكام بالتغليف الشّفاف. اربط السّوار المطّاطيّ حول الإناء جيداً.



⑤ أنزل التغليف على الفنجان مستخدماً نقوداً معدنيّة. اترك الإناء مدّة ساعتين ولكن راقب ماذا يحدث في الداخل. أزل التغليف الآن وانظر داخل الفنجان.

الاستنتاج

قامت الشمس بتبخير الماء في الإناء، وكوّن هذا رذاذَ مياه على التغليف الشّفاف. التغليف الشّفاف يشبه الجوّ تقريباً لأنّه يلتقط البخار. اجتمعت القطرات وأصبحت قطراتٍ أكبر انتقلت إلى النّقطة الأدنى في التغليف حيث أنزلَتْه النقود المعدنيّة. سالت القطرات إلى الفنجان كالمطر.

هل كلّ الجماد والسّوائل والغازات آمنة؟

الكثير من الجماد والسّوائل والغازات مفيد وحتى ضروريٌّ لحياتنا. إلّا أنّ بعضها خطير إن لم يُستخدم بحذر، ومن المُهمّ أن نعلم هذا. على سبيل المثال: الغاز الطبيعيّ آمن جداً عند وضعه في أنابيب واستخدامه كما ينبغي. نادراً ما يتسرّب الغاز الطبيعيّ، ولكن هذا خطير عندما يحدث لأنّه قابل للاشتعال، وبالتالي يؤدّي إلى اندلاع النيران إن كان يوجد شرارة في الجوار.

هل تعلم؟
الغاز الموجود في منازلنا لا يملك رائحة؛ لذا يضيف مزوّدو الطاقة رائحة بيض عفن ليتمكّن النّاس من شمّ أيّ تسرّب مباشرة!



عند انفجار الغاز يتمّ إجلاء النّاس. نادراً ما يتسرّب الغاز ولكن إن شممت رائحة غاز قويّة اترك منزلك ولا تستخدم الهاتف وأطفئ مقابس الكهرباء أو استخدم مصباحاً.

تحذيرات الخطر

يملك الغاز رائحة ليحذّرنا عند اقتراب خطر ما. بينما المواد الأخرى الخطيرة من جماد وسائل وغاز تمتلك علامات تحذير. بعضها عليه إشارات للدلالة إن كان قابلاً للاشتعال أو سامّاً. على سبيل المثال: كلمات مثل، خطر، سم، تحذير. لا يجب أن تلمس الأدوية والكلور المُبيّض أو أيّ مساحيق تنظيف أخرى أو منتجات قد تجدها في المرآب، كسماد التربة، مزيل الطلاء أو مخففات الدّهان.

ماذا بعد؟

قريباً جداً سيصبح هناك إشارات عالميّة للمواد الخطيرة وستكون موّحدة حول العالم. سيعني هذا أنّ أيَّ شخص يمكنه أن يتعرّف إلى المادة الخطرة حتى لو كان في بلد آخر لا يفقه لغته.

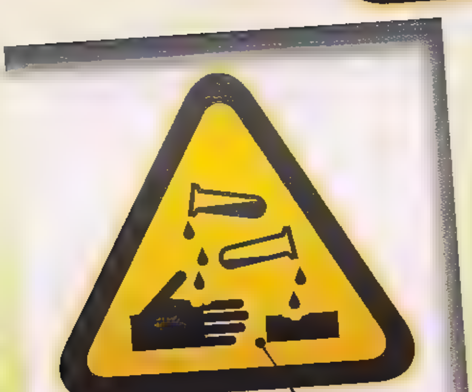
هل رأيت أيّاً من إشارات التحذير هذه من قبل؟



المواد السّامة قد تقتل إن تمّ ابتلاعها.



المواد القابلة للاشتعال تلتقط النيران وتحرق إن تعرّضت لشرارة.



المواد المتآكلة قد تحرق الجلد وأشياء أخرى.

مسرد بالكلمات الصعبة

الـذّرة: كلّ شيء مصنوع من أجـزاء صغيرة تسمّى الذرات. الذّرات صغيرة جداً بحيث لا يمكننا رؤيتها.

الرّابط: قوّة تجذب الـذّرات والجزيئات إلى بعضها البعض.

مضغوط: متقلّص إلى مساحة صغيرة.

تكثيف: عندما يبرد الغاز ويتحوّل إلى سائل.

تقلّص: تدنّي في الحجم، يصبح أصغر.

حجم: مدى ثقل المادة نسبة إلى حجمها.

يخفّف: جعل محلول أضعف عبر إضافة سائل إليه.

يحلّل: عندما يبدو أنّ جامداً اختفى في سائل.

مرن: مادّة تعود إلى شكلها الأصليّ أو طولها الأصليّ بعد مدّها أو ضغطها.

طاقة: قدرة أو قوّة للقيام بعمل ما.

تبخّر: التغير من سائل إلى غاز.

توسّع: الانتشار في مساحة أكبر.

تصفية: آلة كالمصفاة ولكنّها تحتوي ثقوباً صغيرة تستخدم لإزالة أجزاء الجماد من سائل أو غاز .

قابل للاشتعال: شيء يلتقط النار بسهولة ويحترق بسرعة.

يتجمّد: عندما يصبح السّائل جامداً عند تبريده.

نقطة التجمّد: الحرارة، حيث يتحول السّائل إلى جماد عند تبريده.

غاز: حالة للمادّة. يتمدّد الغاز بسهولة لأنّ الذّرات والجزيئات تتحرّك بحريّة دائماً وليست متّصلة ببعضها.

الاحتباس الحراريّ: ارتفاع في درجة حرارة جوّ الأرض ناتج عن حرق الوقود الأحفوريّة كالفحم والزّيت.

آلة مائيّة: آلة تعمل عبر ضغط السّائل -كالزّيت أو الماء- عبر أنبوب.

قوّة كهرمائيّة: طاقة كهربائيّة تنتج من انسياب الماء.

سائل: حالة للمادّة. تنساب السّوائل لأنّ الذّرات والجزيئات متصلة بشكل خفيف.

المادة: أي شيء يحتل مساحة ويتواجد فيزيائياً.

يذوب: عندما يسخن جماد ويصبح سائلاً.

نقطة الانصهار: الحرارة بحيث يذوب الجماد.

جزيئات: مجموعة من الذّرات متّصلة ببعضها.

أوكسيجين: نوع من الغازات نحتاج إليه لنتنفّس.

التلوث: عندما تضاف مواد خطيرة ، قذرة أو مضرّة إلى الهواء أو الماء أو التراب.

الضغط: ممارسة القوّة على شيء.

خاصيّة: خاصيّة الشيء تصف كيف يبدو أو يتفاعل.

مصفاة: شبكة في إطـار تستخدم لتصفية الجماد من السّائل أو لفصل جماد كبير عن جماد صغير.

جماد: حالة لمادّة. في الجماد، الذّرات والجزيئات قريبة من بعضها جداً ومتماسكة بنمط محدّد.

محلول: سائل يتكوّن من شيء تم تحلله.

زنبرك: معدن ملتفّ بإحكام يمكن أن يضغط ويمدّ ولكنّه يعود لشكله الأصلي دائماً.

ضغط السّطح: قوة تحكم إمساك الجزيئات على سطح السّائل.

رمز: صورة، أشكال، خطوط أو أحرف بسيطة على سطح السّائل.

حرارة: مقياس مدى سخونة أو برودة شيء ما.

توربين: آلة تعمل من خلال ضغط الماء، البخار أو الرّياح التي تستعمل في توليد الكهرباء.

يذبذب: التحرّك إلى الأمام والخلف بسرعة.

حجم: حجم المساحة التي يحتلّها شيء ما.

البخار: غاز غير مرئيّ في الهواء، الماء عندما يكون غازاً.

اكتشف المزيد

مواقع إلكترونية:

www.teacher.scholastic.com/activities/studyjams/matter_states/

1- يمكنك في هذا الموقع مشاهدة فيديوهات وإجراء اختبارات حول حالات نادرة.

www.bbc.co.uk/bitesize/ks2/science/materials/solids_liquids_gases/play/

2- يمكنك في هذا الموقع القيام بنشاطات تتعلّق بالجماد والسائل والغاز.

www.harcourtschool.com/activity/states_of_matter/

3- شاهد رسوماً متحرّكة لجزيئات جماد وسائل وغاز.

www.thinktank.ac/featurespage.asp?section=907&sectionTitle=Solids%2C+Liquids+and+Gases

4- في هذا الموقع يوجد نشاطات حول الجماد والسائل والغاز.

لبحث أوسع:

بعض الجماد كالعلب المعدنيّة مصنوعة من زيت أو صخور وجدت تحت الأرض. اكتشف المزيد حول كم من الوقت يتطلّب البلاستيك ليتصدأ أو يتآكل، وماذا يمكنك أن تفعل لتقلّل وتكرّر فضلات البلاستيك والألمنيوم.

يمكنك أيضاً أن تتعلّم عن الحمم البركانية. لِمَ تطفو هذه السوائل عندما تسخن؟ أو يمكنك أن تكتشف نقطة ذوبان مواد مختلفة، وكيف تُذيب المصانعُ المعادنَ تحت درجات حرارة عالية لتمنحها شكلاً.

سلسلة علوم الفيزياء الأساسية

الجماد والسّائل والغاز

مزوّد بمسرد للكلمات الصعبة

- هل كلّ المواد الصّلبة قاسية؟
- لِمَ يتميَّز الماء عن غيره من العناصر؟
- ما هو التبخُّر؟

اِقرأ هذا الكتاب لمعرفة الإجابات على هذه الأسئلة وغيرها.
هذا الكتاب هو جزء مِن سلسلة «علوم الفيزياء الأساسيّة»، وكلّ كتاب في هذه السلسلة يُعدُّ منهجاً دراسيّاً متكاملاً.
تعرّف إلى كيفيّة وجود كلّ مادّة على شكل واحد من ثلاث حالات رئيسة وهي: الجامدة، والسّائلة، والغاز. ما هو الفرق بينها، وكيف يمكن للموادّ أن تتغيّر من حال إلى أخرى؟
يتضمّن الكتاب ثلاثة أنشطة أو تجارب بسيطة، يقوم التلميذ بتجربتها واختبارها بنفسه.

الكاتب

لويز وريتشارد سبيلزبوري، هما كاتبان متخصّصان في مجال العلوم. لديهما بحوث عديدة في مختلف المواضيع، يكتبان للناشئة والشباب في مواضيع علميّة متنوّعة.

المستشار

هارولد برات، مارس تدريس العلوم قبل أن ينتقل إلى إدارة المناهج الدراسيّة وتطويرها. هو زميل في الرّابطة الأميركيّة لتقدُّم العلوم، والرئيس السابق للجمعيّة الوطنيّة لمدرّسي العلوم، وقد أسهم في إصدار عدّة كتب علميّة.

مؤسسة الفكر العربي
عربي 21
ARAB THOUGHT FOUNDATION
ق

تمّ تصنيف هذا الكتاب وفق معايير (عربي 21) لتصنيف كتب الأطفال العربيّ.
وقد صُنّفت مستوى - ق - متقن أدنى السنة السابعة (المرحلة المتوسطة).

ISBN 978-614-433-022-7